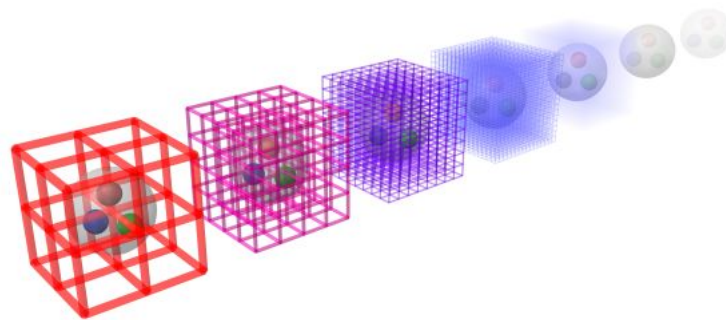


Künstliche Intelligenz macht Quantenfeldtheorien berechenbar

26.01.2026, 11:13 | Wissenschaft, Forschung, Bildung

Pressemitteilung von: *idw - Informationsdienst Wissenschaft*



Quantenfeldtheorien sind das Fundament der modernen Physik. Sie sagen uns, wie sich Teilchen verhalten und wie man ihre Wechselwirkungen beschreiben kann. Viele komplizierte Fragen der Teilchenphysik kann man aber nicht einfach mit Papier und Bleistift beantworten, sondern nur durch extrem aufwändige quantenfeldtheoretische Computersimulationen.

Dabei ist man aber mit außergewöhnlich komplexen Problemen konfrontiert: Man kann die Quantenfeldtheorien nämlich am Computer auf unterschiedliche Arten formulieren. Alle liefern prinzipiell dieselben physikalischen Vorhersagen – aber auf radikal unterschiedliche Weise. Manche Varianten sind rechentechnisch gesehen völlig unbrauchbar, ungenau oder ineffizient, andere verblüffend praktikabel. Seit Jahrzehnten sucht man nach der optimalen Einbettung von Quantentheorien in Computersimulationen. Nun zeigt ein Team der TU Wien zusammen mit Teams aus den USA und der Schweiz: Künstliche Intelligenz kann dabei gewaltige Fortschritte bringen.

Im Computer ist die ganze Welt ein Gitter

„Wenn wir mit Quantenfeldtheorien am Computer arbeiten wollen, müssen wir sie diskretisieren. Das ist eigentlich nichts Ungewöhnliches“, sagt David Müller vom Institut für Theoretische Physik der TU Wien. Jedes Bild auf dem Computerbildschirm besteht aus kleinen, diskreten Bildpunkten. Wenn man die Bahn einer Mondrakete berechnet, dann berechnet man sie in kleinen, diskreten Zeitschritten.

In der Teilchenphysik ist das genauso: Man erzeugt ein vierdimensionales Gitter, mit drei Raumdimensionen und einer Zeitdimension, jeder Gitterpunkt wird am Computer abgespeichert, und die Quantenfeldtheorie gibt vor, wie sich die Gitterpunkte gegenseitig beeinflussen. Auf diese Weise kann man etwa simulieren, was bei gewaltigen Teilchenkollisionen am CERN passiert, oder wie sich Materie knapp nach dem Urknall verhalten hat.

Eigentlich sind Raum und Zeit in der Quantenfeldtheorie kontinuierlich. Wenn man die Theorien auf ein diskretes Gitter abbildet, dann hat man gewisse Freiheiten: Unterschiedliche Gitter-Theorien passen zur selben kontinuierlichen Theorie. Man muss eine Variante auswählen, die rechentechnisch den größten Erfolg verspricht. Tut man das nicht, kann es passieren, dass die Computersimulation in eine Sackgasse gerät und in realistischer Zeit nicht die richtige Lösung findet.

Andere Skala, gleiches Ergebnis

Ein wichtiger Schlüssel zum Erfolg sind sogenannte Fixpunkt-Gleichungen. „Es gibt bestimmte Formulierungen der Quantenfeldtheorie auf einem Gitter, die eine ganz besonders schöne Eigenschaft haben“, erklärt Urs Wenger von der Universität Bern. „Sie sorgen dafür, dass gewisse Eigenschaften gleichbleiben, auch wenn wir das Gitter gröber oder feiner machen. Ist das der Fall, wissen wir: Diese Eigenschaft ist zuverlässig, sie stimmt auch bei grober Auflösung – also auf einem weitmaschigen Gitter – mit dem Kontinuum überein, das einem unendlich feinen Gitter entsprechen würde.“

Es ist ein bisschen so wie bei einer Landkarte, die es in unterschiedlichen Größenskalen gibt: Nicht alle Details werden auf jeder Variante der Karte gleich sein. Aber manche Dinge ändern sich bei einem Wechsel der Größenskala nicht – etwa, welches Land an welches andere Land grenzt. Das bedeutet: Man kann sich ziemlich sicher sein, dass diese Eigenschaft, wenn sie vom Landkarten-Maßstab unabhängig ist, auch eine Eigenschaft der echten Wirklichkeit ist.

Der Erfolg der AI

Schon vor 30 Jahren hat man damit experimentiert, die Gitter-Formeln auf diese Weise anzupassen. Doch dabei gibt es hunderttausende von Parametern – viel zu viel für einen Menschen. „Viele haben bereits vor drei Jahrzehnten begonnen, diese Konzepte zu untersuchen, aber damals fehlten uns schlicht die technischen Möglichkeiten“, sagt Kieran Holland von der University of the Pacific. „Erst durch die Zusammenarbeit mit dem Team der TU Wien konnten wir diese alten Ideen wieder aufgreifen.“

Um diese Vision umzusetzen, entwickelte das Team nun ein ganz spezielles neuronales Netz genau für diesen Zweck. Fertig vorprogrammierte AI-Lösungen führen nicht zum Ziel, man musste eine künstliche Intelligenz entwickeln, die von vornherein garantiert die physikalischen Gesetze einhält, die man ihr vorgibt.

Das ist dem Team nun gelungen. Das Resultat der Arbeit: Die Wirkung – die entscheidende physikalische Größe solcher Quantenfeldtheorien, die man etwa auch vom „Planck’schen Wirkungsquantum“ kennt – konnte mit Hilfe der AI auf einem Gitter so parametrisiert werden, dass selbst grobe Gitter bemerkenswert kleine Fehler liefern. „Wir konnten zeigen, dass dieser Ansatz einen völlig neuen Weg eröffnet, komplizierte Quantenfeldtheorien mit überschaubarem numerischem Aufwand zu simulieren“, sagt Andreas Ipp von der TU Wien.

wissenschaftliche Ansprechpartner:

Dr. Andreas Ipp
Institut für Theoretische Physik
Technische Universität Wien
+43 1 58801 13635
andreas.ipp@tuwien.ac.at

Originalpublikation:

K. Holland, A. Ipp, D.J. Müller, U. Wenger, Machine-Learned Renormalization-Group-Improved Gauge Actions and Classically Perfect Gradient Flows, Phys. Rev. Lett. 136, 031901 (2026). <https://doi.org/10.1103/k41k-2pnc>

Technische Universität Wien

Florian Aigner (Mitarbeiter in der Presse- und Öffentlichkeitsarbeit)

+43 1 58801 41027

pr@tuwien.ac.at

News-ID: 1302072 • Views: 497 (Stand: 03.08.2026)

Link zur Pressemitteilung:

<https://www.openpr.de/news/1302072/Kuenstliche-Intelligenz-macht-Quantenfeldtheorien-berechenbar-idw.html>